

UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER N° 29

FACULTÉ DE MÉDECINE

Ventilation et Echanges gazeux pulmonaires au cours de l'exercice musculaire prolongé

THÈSE

Présentée et publiquement soutenue devant la Faculté de Médecine de Montpellier

Le 12 Mars 1937

PAR

M. ANDRIEU

Né le 31 Mai 1911, à Poussan (Hérault)

POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR EN MÉDECINE

JURY

MM. HÉDON, Prof., Président.
GIRAUD, Professeur.
LAMARQUE, Professeur.
COLL DE CARRERA, Agrégé.

assesseurs

MONTPELLIER
IMPRIMERIE MARI-LAVIT
1, Rue de Sauvages

1937

VENTILATION et ECHANGES GAZEUX PULMONAIRES
AU COURS DE L'EXERCICE MUSCULAIRE
PROLONGE

Digitized by the Internet Archive
in 2026

UNIVERSITÉ DE MONTPELLIER N° 29

FACULTÉ DE MÉDECINE

Ventilation et Echanges gazeux pulmonaires au cours de l'exercice musculaire prolongé

THÈSE

Présentée et publiquement soutenue devant la Faculté de Médecine de Montpellier

Le 12 Mars 1937

PAR

M. ANDRIEU

Né le 31 Mai 1911, à Poussan (Hérault)

POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR EN MÉDECINE

JURY

MM. HÉDON, Prof., Président.
GIRAUD, Professeur.
LAMARQUE, Professeur.
COLL DE CARRERA, Agrégé.

assesseurs

MONTPELLIER
IMPRIMERIE MARI-LAVIT
1, Rue de Sauvages

1937

PERSONNEL DE LA FACULTÉ

Professeurs

Anatomie	MM. J. DELMAS
Histologie	TURCHINI
Physiologie	L. HEDON
Chimie biologique et médicale	CRISTOL
Physique médicale	PECH
Anatomie pathologique	GRYNFELTT
Microbiologie	LISBONNE,
Pathologie et thérapeutique générales	BOSC
Thérapeutique et matière médicale	BOUDET
Hydrologie thérapeutique et climatologie	PUECH
Hygiène	CARRIEU
Médecine légale et médecine sociale	GAUSSEL
Pathologie médicale et clinique propédeutique	GIRAUD
Clinique médicaux	VIRES, assesseur.
Clinique chirurgicale	RIMBAUD
Clinique obstétricale	MASSABUAU
Clinique des maladies mentales et nerveuses	RICHE
Clin. des mal. des enfants et hyg. du premier âge ..	P. DELMAS
Clinique de dermatosyphiligraphie	EUZIERE, doyen
Clinique chirurgicale infantile et orthopédie	LEENHARDT
Clinique des maladies des voies urinaires	MARGAROT
Clinique gynécologique	ETIENNE
Clinique ophtalmologique	JEANBRAU
Clinique d'oto-rhino-laryngologie	LAPEYRE
Matière médicale (Ch. de c.)	VILLARD
Radiologie (Ch. de c.)	TERRACOL
Anatomie (Ch. de c.)	CABANNE3
Histologie (Ch. de c.)	LAMARQUE
	LAUX
	GRANEL

Honorariat

Professeurs honoraires :

MM. ROEET, TEDENAT, GALAVIELLE VALLOIS,
FORGUE, ESTOR et BERTIN-SANS

Chargés de Cours Complémentaires

Pathologie expérimentale	PAGES
Pathologie externe	AIMES
Médecine opératoire	SOUBEIRAN, ag. libre.
Accouchements	COLL DE CARRERA
Clinique phthisiologique	GAUSSEL, prof.
Clinique propédeutique médicale	BAUMEL
Clinique des maladies contagieuses	JANBON
Stomatologie.....	D ^r WATON.

Agrégés en exercice

Chirurgie	MM. AIMES
	MOURGUE-MOLINES
	GUIBAL
	ROUX
Médecine	MM. BOULET
	PAGES
	JANBON
	BAUMEL
	VIDAL
	RIMBAUD
Obstétrique	COLL DE CARRERA
Bactériologie	CARRERE
Ophtalmologie.....	DEJEAN

Examineurs de la Thèse

MM. HEDON, prof. président.
GIRAUD, professeur.

MM. LAMARQUE, agrégé.
COLL DE CARRERA, agrégé.

La Faculté de médecine de Montpellier déclare que les opinions émises dans les dissertations qui lui sont présentées doivent être considérées comme propres à leur auteur et qu'elle n'entend leur donner ni approbation ni improbation.



A MES GRAND'MERES

A MON PERE

A MA MERE

Faible témoignage de ma reconnaissance et de ma profonde affection. .

A MA FIANCEE

A MES JUGES

A MON PRESIDENT DE THESE
MONSIEUR LE PROFESSEUR L. HEDON

Il m'a inspiré le sujet de ce travail, et m'a prodigué inlassablement ses conseils. Je suis heureux de lui témoigner ici mon affectueuse reconnaissance et mon très profond attachement.

A MONSIEUR LE PROFESSEUR G. GIRAUD

A MONSIEUR LE PROFESSEUR LAMARQUE

A MONSIEUR LE PROFESSEUR AGREGÉ
COLL. DE CARRERA

AU DOCTEUR GEORGES FRECHINOS

*mon excellent ami, en souvenir
des heures passées ensemble au
cours de nos expériences.*

A TOUS CEUX QUE J'AIME

Introduction et objet de ce travail

La plupart des recherches sur les phénomènes physiologiques respiratoires provoqués par un travail musculaire, ont porté sur des travaux *d'intensité variable mais de courte durée*. Il nous a paru intéressant d'ajouter à cette série de documents des expériences basées sur des exercices *d'intensité variable mais de très longue durée*. Dans des conditions expérimentales qui paraissent avoir été peu soumises aux investigations, trouverions-nous des conclusions analogues aux précédentes ou complètement opposées ?

L'analyse des échanges gazeux pulmonaires rendue précise et de pratique courante dans les laboratoires par les techniques nouvelles a permis dans ces dernières années de multiplier les expériences, et, s'il fallait établir à l'heure actuelle une bibliographie critique des travaux relatifs au métabolisme respiratoire de l'organisme au travail, il serait nécessaire d'y consacrer un nombre considérable de pages. Aussi serons-nous contraints de ne citer un peu arbitrairement que quelques publications se rapprochant le plus du sujet que nous avons abordé, à savoir :

Quel est le retentissement d'un travail musculaire de très longue durée sur la ventilation et les échanges gazeux pulmonaires ?

Quelle est son influence sur le rythme et la profondeur de la respiration ?

Quels sont les effets de l'entraînement ?

Historique

Nombreux sont les travaux se rapportant au retentissement du travail musculaire sur l'appareil respiratoire, et cependant, malgré cette abondance de recherches, rares sont les documents qui relatent les variations observées au cours d'exercices de plusieurs heures de durée.

En conséquence, les résultats expérimentaux que nous allons mentionner dans ce bref historique ne pourront servir de base à nos conclusions, mais constitueront néanmoins un point de comparaison des plus utiles.

I. — INFLUENCE DU TRAVAIL MUSCULAIRE SUR LES ÉCHANGES RESPIRATOIRES

En 1891, A. LÆWY avait déjà constaté que l'apparition de la fatigue correspond à une augmentation de la consommation d'oxygène pour un même travail des bras actionnant une manivelle (Ergostat de Gärtner). Mais toutes ces expériences ont été de courte durée, *quelques minutes au maximum*, la fatigue apparaissant très tôt. Cet auteur attribue « l'accroissement des combustions respiratoires

à l'entrée en jeu de nouveaux muscles peu appropriés à fournir un effet utile ».

ZUNTZ et SCHUMBURG nous apportent des documents se rapprochant davantage de notre sujet, quoique encore les efforts demandés ne soient que d'intensité relativement faible. Le travail à effectuer était une marche de 25 kms. Ils ont constaté comme effet de la fatigue produite un accroissement de la consommation d'oxygène de 18 %.

Ce sont des faits analogues que note J. AMAR : « la consommation d'oxygène croît pour un même travail avec les progrès de la fatigue. Le moteur musculaire rend de moins en moins. Il gaspille de l'énergie ; on constate au contraire une économie si l'on règle l'effort et la vitesse du travail pour éviter la fatigue ».

BOIGEY, dans son Manuel Scientifique d'Education Physique expose les travaux de WALLER et donne les résultats de ses propres recherches. Pour lui, les échanges gazeux respiratoires mesurés au cours de divers exercices sportifs subissent les modifications suivantes : chez un sujet non entraîné le CO_2 émis est plus abondant, pour un même travail, que chez le sujet entraîné. Le sujet entraîné travaille plus économiquement.

Pour des travaux de forte intensité, cette notion n'est plus confirmée et la plus grande irrégularité est constatée dans les quantités de CO_2 exhalées.

L'auteur étudie ensuite les modifications du quotient respiratoire lors d'un exercice sportif. Pendant la marche normale le Q. R. est de 0,66. Si la marche est plus rapide Q. R. = 0,74. S'il s'agit de pas gymnastique Q. R. = 0,87, enfin lors d'une course de fond, il est égal à 1,05.

Une série d'expériences faites sur des cyclistes bien entraînés a révélé de très faibles modifications du Q. R. Chez le nageur, au contraire, pour une course de vitesse de vingt secondes, le Q. R. passe de 0,81 à 1,48.

Les expériences de HERBST et NEBULONI, ont été faites en utilisant la bicyclette ergométrique de Krogh. Le sujet était à jeun depuis la veille et plusieurs échantillons respiratoires étaient recueillis au cours du travail musculaire. Ils concluaient à une augmentation de la consommation d'oxygène, augmentation qui apparaissait d'autant plus vite que le travail était plus intense. Par exemple dans une expérience d'une durée de 42 minutes où l'intensité de l'exercice était modérée (115 kilogrammètres par minute), cette augmentation atteignait 12 à 15 %. Dans des expériences plus courtes, mais d'intensité plus grande, ils ont constaté des irrégularités de rendement. La consommation d'oxygène, par unité de travail effectué, croissait d'abord très vite pour diminuer ensuite. GRECH, qui a étudié dans le Laboratoire de Physiologie de la Faculté de Médecine de Montpellier, au moyen de l'installation ergographique dont nous nous sommes servis nous-mêmes, les effets de la fatigue sur le rendement du travail musculaire conclut, que la consommation d'oxygène est accrue, pour un même travail après fatigue, mais, pour lui, cela ne signifie pas un abaissement de rendement du muscle et si la quantité de O^2 est augmentée pour un même travail effectué à l'état de fatigue, cela tient à ce que la dette d'oxygène contractée, vient s'ajouter à l'accroissement des échanges provoqués par l'exercice d'épreuve.

ANDRÉ, FRENAY et ROCOUR communiquent une courbe des variations du CO^2 alvéolaire au cours de l'effort. Elle s'élève d'abord et ils attribuent cette brusque ascension à une décharge d'acide lactique dans le sang. Ce passage dans le sang serait dû à une ventilation pulmonaire insuffisante. L'oxygène manque au niveau des muscles, l'acide lactique n'est plus complètement comburé. Il pénètre dans le sang, attaque les carbonates, forme des lactates et libère une grosse quantité de CO^2 . Ensuite la courbe

tombe bien au-dessous de la normale. C'est qu'à ce moment, la surventilation pulmonaire a restauré le pH. Enfin lorsque les carbonates se réaccumulent dans le sang, la courbe traduit fidèlement leur restauration et se relève progressivement.

Nous ne pourrions terminer ce court exposé de bibliographie sans citer quelques passages des conclusions d'HÖHNER, CHRISTENSEN et de E. HANSEN : le travail était effectué sur le cycloergomètre de Krogh et l'intensité variait de 480 à 1920 kgmètres par minute. Le métabolisme du travail était mesuré après 20 minutes de travail : en plein « Steady-State ». CHRISTENSEN conclut :

1. que la valeur de l'oxygène consommé est d'autant plus élevée que l'intensité du travail est plus grande.

C'est à cette même notion qu'aboutit HANSEN : « l'augmentation de la consommation d'oxygène est proportionnelle à l'intensité et à la vitesse du travail. »

2. Le CO_2 expiré varie en fonction linéaire de la ventilation. Si le travail est léger, le CO_2 alvéolaire atteint une valeur qui dépasse celle du repos. Si le travail est pénible, il diminue par rapport au CO_2 alvéolaire du repos.

CHAILEY-BERT, FAILLIE et LANGLOIS, dans un article paru dans les C. R. de l'Académie des Sciences, nous donnent une explication du « second souffle des coureurs ». D'après ces auteurs, le « second wind » est amené par une diminution des échanges, résultat d'une meilleure adaptation du sujet, d'une amélioration du rendement de la machine humaine. La quantité de CO_2 exhalée par minute décroît. La ventilation pulmonaire devient moins importante.

II. — VENTILATION PULMONAIRE ET EFFET DE L'ENTRAÎNEMENT

Sur cette question, la bibliographie ne nous apporte que très peu de documents intéressants à retenir. L'étude de la ventilation pulmonaire et celle de l'entraînement n'ont

attiré que faiblement l'attention des auteurs. La majeure partie de leurs recherches a porté sur les divers dosages de CO_2 et d' O_2 au moment d'un effort ou pendant la période de restauration. Il nous paraît pourtant intéressant de connaître aussi exactement que possible cette ventilation pulmonaire et de savoir dans quel sens l'entraînement peut la modifier.

A. JORDI, dans un article intitulé : « Recherches sur l'entraînement » conclut que les sujets entraînés présentent une légère diminution du volume d'air respiré par minute et par mètre carré, aussi bien au repos que pendant le travail. Parmi les divers groupes de sportifs, les coureurs présentent une hypoventilation relative particulièrement marquée. Les faits sont mieux mis en évidence lorsqu'on considère le rapport $\frac{\text{ventilation pulmonaire}}{\text{oxygène consommé}}$

le rapport est sensiblement plus élevé chez les non entraînés, surtout pendant le travail et le retour au calme.

A une conclusion identique aboutit FRENAY. L'entraînement musculaire, dit l'auteur, augmente la capacité vitale. Il diminue le volume et le rythme respiratoire pour un effort donné ; chez les entraînés, le pourcentage de CO_2 dans l'air expiré est plus élevé que chez le sujet non entraîné, pour un effort maximal. Notons, en passant, que ces diverses conclusions découlent d'expériences faites sur des exercices musculaires de très faible intensité et de courte durée. Par exemple, le travail demandé par FRENAY à ses sujets consistait en 20 flexions de jambe sur la cuisse et de la cuisse sur le bassin. Le plus gros effort consistait en une course de 150 mètres en 30 secondes.

Dans une note parue dans les C. R. de la Société de Biologie, 1933, ANDRÉ, FRENAY et ROCOUR étudient l'influence de l'entraînement sur le retour à la normale de la courbe de CO_2 dont nous avons fait mention dans le premier chapitre.

On se souvient, en effet, qu'après une brusque élévation le chiffre de CO_2 exhalé retombait au-dessous de sa valeur initiale et mettait ensuite un temps plus ou moins long pour revenir à son point de départ. Pour un exercice peu violent, flexion des jambes sur les cuisses et des cuisses sur le bassin 20 fois en 30 secondes, l'entraînement diminue l'importance de la chute du CO_2 et abrège le temps de retour à la normale. Ce laps de temps qui, le premier jour était de 25 minutes, est nul le huitième jour.

Pour des efforts plus violents (course de 150 mètres en 28 secondes) l'entraînement est plus lent. Il faut au moins 15 jours.

Dans les deux cas, on observe, que si l'on cesse l'entraînement journalier, le bénéfice de l'entraînement antérieur se maintient un temps plus ou moins long suivant la sévérité de l'exercice.

Dans des exercices plus violents (monter et descendre 47 marches deux fois en 48 secondes) l'entraînement ne se marque pas sur l'allure de la courbe du CO_2 alvéolaire. Pour des exercices plus violents encore, on observe ou bien le maintien de la courbe de CO_2 ou une chute plus profonde du CO_2 alvéolaire et un temps de retour à la normale allongé.

Enfin, pour terminer, voici quelques remarques d'HOWER CHRISTENSEN : Souvent l'amplitude respiratoire ne dépend pas de la ventilation et un sujet a présenté la même amplitude pour 37 et 112 litres d'air par minute.

La fréquence respiratoire augmente lors du non entraînement.

Le volume de l'air-minute décroît avec l'entraînement.

En résumé : Chez tous ces auteurs, la concordance est absolue à tous les points de vue et, les conclusions identiques. Mais pour tous, et nous nous excusons de le répéter

ter, même remarque : leurs résultats ont été obtenus sur des expériences où le travail musculaire était de durée courte ou, en tous cas, de durée et d'intensité inférieures à celles que nous avons réalisées dans nos recherches.

Recherches Personnelles

Deux difficultés se présentaient à nous pour organiser des expériences susceptibles de donner une réponse aux questions que nous étions posées.

Tout d'abord, comment réaliser un travail musculaire s'étendant sur une dizaine d'heures ? Evidemment, la solution la plus simple était de pédaler au laboratoire sur une bicyclette fixe pendant des journées entières. Un seul avantage à cette solution : le travail effectué pouvait être calculé en kilogrammètres d'une façon précise grâce à une installation ergographique dont nous donnerons plus loin la description. Mais les inconvénients étaient trop grands. Il faut, en effet, avoir pédalé soi-même pendant un quart d'heure seulement, dans une salle où il est impossible, malgré un ventilateur, de réaliser la sensation du plein air pour se rendre compte de la monotonie désespérante de ce genre d'exercice et de la gêne qui l'accompagne par suite des mauvaises conditions dans lesquelles se fait la régulation thermique. Aussi avons-nous préféré réaliser le travail musculaire en parcourant à bicyclette des distances variant de 50 kms à 150 kms en terrain varié. Le nombre de kilogrammètres en résultant était cal-

culé d'une façon approximative par la formule de BOURLET, dont nous parlerons plus loin.

La deuxième difficulté était le recrutement des sujets. La longue perte de temps découlant de l'exécution de ces expériences éloignait déjà de nous les travailleurs et la rudesse de tels exercices rebutait la bonne volonté de ceux qui auraient pu nous sacrifier quelques-unes de leurs journées. Restait la catégorie des professionnels du cyclisme. Mais inutile d'y songer : nous ne pouvions étudier sur eux les effets de l'entraînement.

Nous avons donc été obligés de faire ces expériences sur nous-mêmes, un de nos camarades servant de sujet. Réciproquement celui-ci étudia sur nous, le retentissement d'un travail musculaire semblable sur l'appareil circulatoire.

Plan des Expériences

Le type des expériences réalisées jusqu'alors peut en quelques mots se résumer ainsi : le sujet effectuait un travail donné et les différentes mesures de débit, rythme, fréquence respiratoire, dosages du CO_2 et de l' O_2 , etc. étaient faites avant, pendant et après l'expérience. Le lendemain et les jours suivants, l'exercice était repris dans des conditions identiques et il ne restait plus qu'à comparer les résultats obtenus pour en tirer des conclusions.

Suivant les conseils de notre Maître, Monsieur le Professeur HÉDON, nous avons modifié ce plan d'expérience et posé le problème suivant :

Quelles sortes de modifications subira l'appareil respiratoire d'un sujet, effectuant un travail musculaire *le matin après une nuit de repos*, et l'exécutant *le soir après une journée de travail musculaire intense* ?



Le sujet sur la bicyclette ergographique

Appareillage et Techniques employées

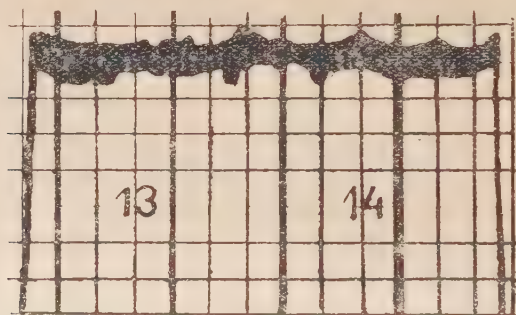
1. — APPAREIL ENREGISTREUR DU TRAVAIL. (*Voir figure*)

Un châssis métallique peut recevoir une bicyclette quelconque et maintenir soulevée sa roue arrière. La machine est fixée au sol par 6 câbles d'acier munis de tendeurs qui s'attachent au voisinage de la selle et du guidon et qui assurent une rigidité parfaite indispensable pour obtenir un bon rendement mécanique.

La bicyclette que nous avons utilisée est munie au pédalier de cinq roues dentées actionnant par l'intermédiaire d'une chaîne un autre pignon vissé sur le moyeu arrière et donnant des combinaisons telles que un tour de pédale correspond à : 1, 1,33, 1,78, 2,22, 2,95 tours de la roue arrière. De l'autre côté du moyeu de cette roue est fixé un autre pignon attaquant par l'intermédiaire de la chaîne la dynamo. Celle-ci visible sur la figure est commandée par un couple d'engrenages dont le rapport est tel que un tour de roue de la bicyclette correspond à 6,12 tours de l'induit. Pour obtenir un rendement normal de la dynamo, il faut que l'induit tourne à environ 1000 tours minute. Cette vitesse de rotation est obtenue, suivant le

pignon du pédalier sur lequel est placée la chaîne, avec respectivement 164, 123, 92, 74 et 56 tours de pédales à la minute. C'est la vitesse de 74 tours de pédales à la minute que nous avons employée. Le pneumatique arrière a été remplacé par un tuyau de plomb ligaturé sur la jante de manière à atténuer les variations de vitesse.

La dynamo est à excitation indépendante. Fonctionnant à pleine charge, elle absorbe une puissance de 1 CV. Le courant produit est de 110 volts à 1.000 tours. Le tableau électrique placé face à la bicyclette, directement sous les yeux du sujet en expérience, porte dix lampes à filament métallique qui peuvent être mises en circuit par le jeu de



Type du tracé de travail obtenu après 15 minutes de bic. erg.

commutateurs fixés sur le guidon. L'intensité du courant produit est visible sur un ampèremètre situé dans l'angle supérieur gauche du tableau. Un voltmètre placé symétriquement à droite permet de surveiller à tout instant la vitesse de l'induit, le courant n'étant de 110 volts que lorsqu'elle est voisine de 1.000 tours minute. La cadence de pédalage est ainsi facilement maintenue constante. Enfin, un wattmètre enregistreur enfermé sous cage vitrée au centre du tableau, inscrit sur un papier quadrillé entraîné

par un mouvement d'horlogerie, des ordonnées rectilignes, dont chaque millimètre correspond à un watt.

Des tracés du travail fourni peuvent être ainsi recueillis pendant des périodes de temps quelconques. L'inertie du wattmètre est très faible, si bien que les variations de puissance sont parfaitement visibles sur les tracés. Elle permet aussi de constater la plus ou moins bonne coordination des mouvements. Au-dessous du tableau est placé le rhéostat de réglage du courant d'excitation. La courbe de rendement de la dynamo munie de son couple d'engrenages multiplicateurs a été dressée au banc d'essai, mais les pertes par frottements dans les transmissions entre les pédales et le pignon d'attaque de la dynamo ne sont pas encore déterminées, ce qui nous interdit de calculer de façon précise en kilogrammètres le travail effectué dans nos expériences. Mais cela importe peu puisqu'il s'agit uniquement de faire exécuter à un sujet un travail identique à des heures différentes. Or, on peut le faire en toute certitude, le wattmètre enregistreur donnant la preuve que la puissance développée est identique dans les deux stades de l'expérience. Approximativement toutefois, nous pouvons indiquer l'ordre de grandeur du travail que nous avons adopté qui est d'environ 900 kilogrammètres par minute, soit $1/5$ de C.V.

II. — MESURE DES ÉCHANGES GAZEUX RESPIRATOIRES

Le sujet respire dans un masque respiratoire de Dautrebande. Le nez et la bouche sont, grâce à un manchon pneumatique préalablement gonflé et épousant les moindres replis du visage, complètement isolés de l'air ambiant. Toute fuite d'air est donc impossible. A l'embouchure sont annexées une soupape d'entrée et une soupape de

sortie d'air. La soupape d'expiration peut être reliée par un tube souple de gros calibre à un sac de caoutchouc pouvant contenir plus de cent litres d'air. Le volume d'air expiré peut être ainsi recueilli en totalité et d'une façon très précise pendant un laps de temps exactement mesuré. Grâce à cette technique, les résistances inspiratoires et expiratoires sont pratiquement nulles, même pour une ventilation intense et l'espace mort est réduit au minimum.

La quantité d'air recueillie est ensuite mesurée très exactement, en reliant le tube souple du sac de caoutchouc à un spiromètre totalisateur (compteur à gaz de précision sur bain d'huile dans nos expériences).

Pour l'analyse, aucune difficulté. Un échantillon d'air du sac est recueilli dans une ampoule de 100 cc. et l'analyse elle-même faite avec les précautions d'usage, au moyen de l'eudiomètre de Haldane.

Conditions Expérimentales

Le sujet arrivait au laboratoire le matin, après une nuit de repos et n'ayant consommé qu'un peu de café au lait quelques temps avant le début de l'expérience. Il ne portait que des vêtements très légers, se pesait et se mettait en selle sans pédaler. Le masque de Dautrebande était appliqué sur son visage. Evidemment, le port de cet appareil provoquait toujours chez lui durant quelques instants des modifications respiratoires pouvant fausser les résultats. Aussi, laissions-nous s'écouler cinq minutes, repos largement suffisant pour permettre au sujet de s'adapter à cette nouvelle façon de respirer. Ces quelques minutes passées, on commençait alors à prendre une première série de mesures :

a) La ventilation pulmonaire en reliant la soupape d'expiration au sac de caoutchouc.

b) La fréquence respiratoire (prise à l'insu du sujet).

Dès le départ était donné et le sujet pédalait pendant un quart d'heure rigoureusement chronométré à une cadence égale. Nous avons choisi préalablement par tâtonnements une intensité de travail telle que le sujet n'aurait

guère pu continuer à ce régime plus de un quart d'heure. La dynamo débitait 35 watts, ce qui, compte tenu de son rendement, des résistances du circuit et des pertes par frottements dans les transmissions peut correspondre, d'après nos évaluations, à une puissance de 900 kilogrammètres à la minute environ. Pendant toute cette première partie de l'expérience le sujet gardait sur son visage le masque de Dautrebande.

Le quart d'heure terminé, le sujet s'arrêtait brusquement de pédaler et restait immobile sur la machine. Quinze secondes après cet arrêt brusque, les mêmes mesures de ventilation et de fréquence étaient prises avec les mêmes précautions que précédemment.

Le premier temps de l'expérience était terminé.

Le deuxième commençait alors et consistait à parcourir un itinéraire préalablement fixé variant de 50 à 150 kilomètres et empruntant des routes plus ou moins accidentées. Pendant le trajet, les sensations subjectives étaient notées.

Nous avons calculé en kilogrammètres le travail musculaire effectué, en appliquant la formule de BOURLET.

$(0,01 + p) P + 0,003 V = \text{kgmètres par mètre parcouru.}$

p = pourcentage de côtes.

P = poids du cycliste et de la machine.

V = vitesse.

L'étape était fractionnée en plusieurs tronçons et la formule appliquée à chacun d'eux.

Par exemple : pour le parcours Montpellier-Gigean (18 kilomètres environ).

1°) 15 kilomètres de plat, à 20 km. à l'heure.

2°) 2 km. de côte à 3 p. 100, à 15 km. à l'heure.

3°) 3 km. de roue libre (qui ne demandent aucune dépense d'énergie.

Ce qui nous donne, en appliquant la formule à chaque action de parcours :

1°) $(0,01 + 0) 100 + 0,03 \times 20^2 = 2 \text{ kgm. 2 par mètre parcouru.}$

Pour 15 kilomètres $= 2,2 \times 15.000 = 33.000 \text{ kgmètres.}$

2°) $(0,01 + 0,03) 100 + 0,003 \times 15^2 = 4 \text{ kgmètres 675 par mètre parcouru.}$

Pour 2 kms $= 4,675 \times 2.000 = 9.350 \text{ kgmètres.}$

C'est-à-dire pour tout le trajet :

$33.000 + 9.350 = 42.350 \text{ kgmètres.}$

Enfin, troisième et dernier temps de l'expérience, à l'arrivée au laboratoire le sujet effectuait un quart d'heure sur bicyclette fixe avec la même intensité que le matin, et les mesures étaient prises tout comme au premier temps.

Schéma d'une expérience

Premier temps

- a) Mesures effectuées avant tout effort. Vent. pulm. Fréquence respiratoire.
- b) Quinze minutes sur bicyclette ergographique.
- c) Mesures effectuées quinze secondes après cet effort. Vent. pulm. Fréquence respiratoire.

Deuxième temps

Travail musculaire de longue durée variant avec chaque expérience.

Troisième temps

- a) Mesures effectuées avant les quinze minutes d'effort. Vent. pulm. Fréquence respiratoire.
- b) Quinze minutes sur bicyclette ergographique.
- c) Mesures effectuées 15 secondes après cet effort. Vent. pulm. Fréquence respiratoire.

Le premier et le troisième temps étaient les mêmes pour chaque expérience. Seul, le deuxième temps variait.

Résultats

Le sujet d'expérience était un jeune intellectuel de 24 ans, en très bonne santé. Il n'avait jamais fait de grande randonnée à bicyclette et par conséquent n'avait qu'un très faible degré d'entraînement pour ce genre de travail musculaire.

Première expérience (4 juillet 1936)

A. — Avant tout effort

Débit respiratoire : 11 l. 150.

Fréquence respiratoire : 16 mts à la minute.

Poids : 86 kgs 700.

Après 15 minutes sur bicyclette ergographique (35 watts)

Débit respiratoire : 42 l. 260.

Fréquence respiratoire 14 (31, une minute avant la fin).

Poids : 86 kgs. 500.

B. — Longueur de l'étape : 60 kilomètres équivalents à 167.500 kilogrammètres environ (Montpellier, Saint-Gély, Saint-Martin-de-Londres, Ravin des Arcs et retour).

C. — A l'arrivée :

Laboratoire :

Avant tout effort.

Débit respiratoire : 26 l. 200

Fréquence respiratoire : 11

Après le quart d'heure de bicyclette ergographique :

Débit respiratoire : 53 l. 150.

Fréquence respiratoire : 17 m. (29 une minute avant fin).

Poids : 84 kg. 700.

Résumé de cette expérience :

Débit respiratoire :

Avant l'exp.

Avant bic. erg. 11 l.

Après bic. erg. 42 l.

Après l'exp.

Avant bic. erg. 26 l.

Après bic. erg. 53 l.

Fréquence respiratoire

Avant l'exp.

Avant bic. erg. . . 16 mts resp. à la min

Après bic. erg. . . 14 mts resp. à la min

Après l'exp.

Avant bic. erg. . . 11 mts resp. à la min

Après bic. erg. . . 17 mts resp. à la min

Deuxième expérience (Mardi 7 juillet 1936)

A. — Avant tout effort :

Débit respiratoire	11 l. 700
Fréquence respiratoire	17
Poids	88 k. 700

Après 15' sur bic. erg. (35 watts) :

Débit respiratoire	37 l. 100
Fréquence respiratoire ..	14
(30 1 minute avant la fin)	
Poids	88 k. 500

B. — Etape de 90 kilomètres équivalents à 330.000 kilogrammètres environ (Montpellier, Saint-Martin-de-Londres, Causse-de-la-Selle, Saint-Guilhem-le-Désert, Aniane, La Boissière, Saint-Paul, Montpellier).

C. — A l'arrivée :

Avant 15' de bic. erg.

Débit respiratoire..	15 l. 900
Fréq. respiratoire ..	20
Poids	87 k 600

Après 15' de bic. erg. (35 watt) :

Débit respiratoire..	41 l. 110
Fréq. respiratoire ..	18
Poids	87 k 200

Capacité vitale, 4 litres 900.

Pendant cette expérience, la fréquence respiratoire du sujet fut prise à son insu au sommet de côtes à très fort pourcentage. Elle oscillait sensiblement autour de 37 et 38.

TROISIEME EXPERIENCE (5 janvier 1937)

A. — Avant tout effort :

Débit respiratoire.. 10 l. 300
Fréq. respiratoire .. 18
Poids 89 k 200

Après 15' de bic. erg. (35 watt) :

Débit respiratoire.. 28 l. 700
Fréq. respiratoire .. 12
Poids 89 k 100

B. — Etape de 50 kilomètres équivalents à 121.000 gramètres environ.

Montpellier, Lavérune, Pignan, Gigean, Poussan retour.

C. — A l'arrivée :

Avant 15' de bic. erg.

Débit respiratoire.. 13 l. 100
Fréq. respiratoire .. 12
Poids 88 k 150

Après 15' de bic. erg. (35 watt) :

Débit respiratoire.. 40 l.
Fréq. respiratoire .. 19 (30 une minute a la fin).
Poids 87 k 900

Le sujet termine son quart d'heure de Bic. erg. dans grand épuisement.

Capacité vitale, 5 litres.

QUATRIEME EXPERIENCE (Lundi 11 janvier 1937)

A. — Avant tout effort :

Débit respiratoire. 11 l.
Fréq. respiratoire .. 14
Poids 89 k 100

Après 15' de bic. erg. (35 watt) :

Débit respiratoire. 28 l.
Fréq. respiratoire .. 12
Poids 89 k.

B. — Etape de 92 kilomètres équivalents à 383.200 kilogrammètres environ.

Montpellier, Saint-Martin-de-Londres, Ganges, Le Vigan et retour.

C. — A l'arrivée :

Avant 15' de bic. erg.

Débit respiratoire.. 14 l. 500
Fréq. respiratoire .. 20
Poids 89 k.

Après 15' de bic. erg. (35 watt) :

Débit respiratoire.. 31 l. 700
Fréq. respiratoire .. 15
Poids 88 k 900

Le sujet effectue son quart d'heure de bic. fixe avec beaucoup moins de fatigue que lors de la dernière expérience.

Capacité vitale, 5 litres 100.

Etape effectuée sans aucune sensation de fatigue.

Fréquence respiratoire au sommet des côtes, 37.

CINQUIEME EXPERIENCE (Vendredi 15 janvier 1937)

A. — Avant tout effort :

Débit respiratoire... 10 l.
Fréq. respiratoire .. 18
Poids 89 k.

Après 15' de bic. erg. (35 watt) :

Débit respiratoire.. 30 l. 500
Fréq. respiratoire .. 16
Poids 88 k 700

B. — Etape de 70 kilomètres équivalents à 196.000 kilogrammètres environ.

Montpellier, Gignac, Aniane, La Boissière, Saint-Paul et Montpellier.

C. — A l'arrivée :

Avant 15' de bic. erg.

Débit respiratoire.. 12 l.
Fréq. respiratoire .. 17
Poids 88 k 300

Après 15' de bic. erg. (35 watt) :

Débit respiratoire.. 31 l.
Fréq. respiratoire .. 17
Poids 88 k.

A partir de cette expérience, le dosage de CO_2 et d' O_2 des quatre échantillons d'air a été fait et donne les résultats suivants :

Echantillon (1)	CO ² = 1 cc 40	pour 100 cc d'air expiré		
	O ² = 19 cc 12	—	—	—
Echantillon (2)	CO ² = 2 cc 21	—	—	—
	O ² = 18 cc 70	—	—	—
Echantillon (3)	CO ² = 1 cc 25	—	—	—
	O ² = 18 cc 30	—	—	—
Echantillon (4)	CO ² = 2 cc 92	—	—	—
	O ² = 17 cc 36	—	—	—

Capacité vitale, 5 litres 150.

SIXIEME EXPERIENCE (Mardi 19 janvier 1937)

A. — Avant tout effort :

Débit respiratoire.. 11 l.

Fréq. respiratoire .. 14

Poids 89 k.

(1) Echantillon d'air :

CO² = 1 cc 414 pour 100 cc d'air expiré

O² = 19 cc 098 — — —

Après 15' de bic. erg. (35 watt) :

Débit respiratoire.. 33 l. 900

Fréq. respiratoire .. 14

Poids 88 k 850

(2) Echantillon d'air :

CO² = 2 cc 718 pour 100 cc d'air expiré

O² = 18 cc 18 — — —

B. — Etape de 110 kilomètres équivalents à 339.000 kilogrammètres environ (Montpellier, Gignac, Lodève et retour).

C. — A l'arrivée :

Avant 15' de bic. erg.

Débit respiratoire.. 12 l.

Fréq. respiratoire .. 16

Poids 87 k 300

(3) Echantillon d'air :

CO² = 1 cc 364 pour 100 cc d'air expiré

O² = 18 cc 54 — — —

Après 15' de bic. erg. (35 watt) :

Débit respiratoire.. 25 l. 500

Fréq. respiratoire .. 15

Poids 87 k 150

(4) Echantillon d'air :

CO² == 3 cc 145 pour 100 cc d'air expiré

O² == 17 cc 08 — — —

Capacité vitale, 5 litres 350.

SEPTIEME EXPERIENCE (Mardi 26 janvier 1937)

A. — Avant tout effort :

Débit respiratoire.. 10 l. 100

Fréq. respiratoire .. 12

Poids 89 k 400

(1) Echantillon d'air :

CO² = 1 cc 380 pour 100 cc d'air expiré

O² = 19 cc 10 — — —

Après 15' de bic. erg. (35 watt) :

Débit respiratoire.. 24 l.

Fréq. respiratoire .. 12

Poids 89 k 100

(2) Echantillon d'air :

CO² = 2 cc 80 pour 100 cc d'air expiré

O² = 18 cc 11 — — —

B. — Etape de 140 kilomètres équivalents à 562.000 kilogrammètres environ. La moitié du parcours (70 kilomètres) a été effectuée avec un vent debout extrêmement violent. Pour calculer le travail fourni, nous avons comparé la résistance à vaincre à l'escalade d'une côte de 2 %. (Montpellier, Mèze, Pézenas, Servian et retour).

C. — A l'arrivée :

Avant 15' de bic. erg.

Débit respiratoire.. 11 l. 500

Fréq. respiratoire .. 14

Poids 87 k 600

(3) Echantillon d'air :

CO² = 1 cc 29 pour 100 cc d'air expiré

O² = 18 cc 42 — — —

Après 15' de bic. erg. (35 watt) :

Débit respiratoire... 25 l. 200

Fréq. respiratoire .. 14

Poids 87 k 500

(4) Echantillon d'air :

CO² = 3 cc 02 pour 100 cc d'air expiré

O² = 16 cc 81 — — —

Capacité vitale, 5 litres 500.

Le sujet termine l'expérience dans un grand épuisement et la grande lassitude éprouvée n'est nullement comparable à la légère fatigue des autres étapes.

HUITIEME EXPERIENCE (Vendredi 29 janvier 1937)

A. — Avant tout effort :

Débit respiratoire.. 9 l. 700

Fréq. respiratoire .. 12

Poids 87 k 750

Echantillon d'air :

CO² = 1 cc 37 pour 100 cc d'air expiré

O² = 19 cc 08 — — —

Après 15' de bic. erg. (35 watt) :

Débit respiratoire.. 21 l.

Fréq. respiratoire .. 10

Poids 87 k 650

(2) Echantillon d'air :

CO² = 3 cc 02 pour 100 cc d'air expiré

O² = 18 cc 01 — — —

B. — Etape de 140 kilomètres équivalents à 492.600 kilogrammètres (Montpellier, Gignac, Arboras, La Vacquerie, Ganges, Saint-Martin-de-Londres et Montpellier).

C. — A l'arrivée :

Avant 15' de bic. erg.

Débit respiratoire.. 12 l.

Fréq. respiratoire .. 20

Poids 87 k 300

(3) Echantillon d'air :

CO² = 1 cc 35 pour 100 cc d'air expiré

O² = 18 cc 70 — — —

Après 15' de bic. erg. (35 watt) :

Débit respiratoire.. 25 l.

Fréq. respiratoire .. 14

Poids 87 k 300

(4) Echantillon d'air :

CO² = 3 cc 20 pour 100 cc d'air expiré

O² = 17 cc 05 — . —

Capacité vitale, 5 litres 550.

NEUVIEME EXPERIENCE (Jeudi 4 février 1937)

A. — Avant tout effort :

Débit respiratoire... 9 l. 800

Fréq. respiratoire .. 14

Poids 87 k 650

(1) Echantillon d'air :

CO² = 1 cc 380 pour 100 cc d'air expiré

O² = 19 cc 12 — — —

Après 15' de bic. erg. (35 watt) :

Débit respiratoire.. 21 l.

Fréq. respiratoire .. 11

Poids 87 k 550

(2) Echantillon d'air :

CO² = 3 cc pour 100 cc d'air expiré

O² = 18 cc 02 — — —

B. — Etape de 70 kilomètres équivalents à 196.000 kilogrammètres (Montpellier, Gignac, Aniane, La Boissière, Saint-Paul et Montpellier).

C. — A l'arrivée :

Avant 15' de bic. erg.

Débit respiratoire.. 11 l. 950

Fréq. respiratoire .. 18

Poids 87 k 300

(3) Echantillon d'air :

CO² = 1 cc 33 pour 100 cc d'air expiré

O² = 18 cc 76 — — —

Après 15' de bic. erg. (35 watt) :

Débit respiratoire.. 24 l.

Fréq. respiratoire .. 15

Poids 87 k 200

(4) Echantillon d'air :

CO² = 3 cc 30 pour 100 cc d'air expiré

O² = 16 cc 91 — — —

Capacité vitale, 5 litres 700.

Résumé des Expériences

Pour pouvoir donner une interprétation d'ensemble des résultats et pour éclairer en outre la lecture de cette longue énumération de chiffres, nous avons dressé quatre graphiques.

Le premier et le troisième concernant la ventilation pulmonaire et le CO_2 exhalé en une minute ont été facilement réalisés en portant *en ordonnée*, pour le premier, la quantité d'air rejetée en une minute, pour le deuxième la quantité de CO_2 exhalé dans le même temps et *en abscisse* le numéro d'ordre des expériences.

Mais pour obtenir une courbe des quantités d'oxygène consommées en une minute, nous avons toujours retranché les quantités trouvées dans l'air expiré de 20,89 %, qui représente la teneur normale en oxygène de l'air.

Par exemple :

Dans la cinquième expérience, le sujet exhalait au repos 19 cc. 12 d' O_2 . Donc, il en consommait : 20 cc. 89 — 19 cc. 12 = 1 cc. 77 par 100 cc. d'air absorbé (1).

Or, dans cette même expérience, le débit respiratoire était de 10.000 cc. à la minute. Donc, dans ce laps de temps

le sujet consommait 177 cc. d'oxygène. Ce raisonnement a été repris pour chaque expérience.

(1) Nous avons jugé tout à fait inutile de calculer plus exactement les quantités d'oxygène consommées et de faire la correction nécessitée par la valeur du quotient respiratoire. En effet, d'une part ces corrections auraient eu peu d'importance par rapport aux variations que nous avons à constater, d'autre part, le quotient respiratoire est d'interprétation délicate dans de telles expériences.

EXPERIENCES N° d'ordre	O2 consommé en 1 minute	CO2 exhalé (pour 100)	CO2 exhalé en 1 minute	Quotient respiratoire	Fréquence respiratoire	Débit respirat. à la minute
V ^e expérience						
(1) Au repos.	177 cc.	1 cc. 40	140 cc.	0,79	18	10 lit.
(2) Après 15' de bic. fixe. . .	667 cc. 95	2 cc. 21	674 cc.	1,01	16	30 lit. 500
(3) A l'arrivée	310 cc. 80	1 cc. 251	150 cc.	0,48	17	12 lit.
(4) Après 15' bic. fixe	1059 cc.	2 cc. 92	905 cc. 2	0,85	17	31 lit.
VI ^e expérience						
(1) Au repos.	197 cc. 12	1 cc. 414	155 cc.	0,79	14	11 lit.
(2) Après 15' de bic. fixe. . .	655 cc. 39	2 cc. 718	659 cc.	1,05	14	23 lit. 900
(3) A l'arrivée	282 cc.	1 cc. 364	163 cc. 6	0,58	16	12 lit.
(4) Après 15' bic. fixe	970 cc. 55	3 cc. 145	879 cc. 7	0,90	15	25 lit. 500
VII ^e expérience						
(1) Au repos.	180 cc. 79	1 cc. 380	139 cc. 3	0,76	12	10 lit. 100
(2) Après 15' de bic. fixe. . .	665 cc. 20	2 cc. 80	672 cc.	1,01	12	24 lit.
(3) A l'arrivée	370 cc. 50	1 cc. 29	148 cc. 3	0,41	14	11 lit. 500
(4) Après 15' bic. fixe	1028 cc. 16	3 cc. 02	761 cc. 04	0,74	14	25 lit. 200
VIII ^e expérience						
(1) Au repos.	185 cc. 57	1 cc. 37	432 cc. 8	0,71	12	9 lit. 700
(2) Après 15' de bic. fixe. . .	604 cc. 80	3 cc. 02	634 cc. 2	1,04	10	21 lit.
(3) A l'arrivée	262 cc. 80	1 cc. 35	162 cc.	0,62	20	12 lit.
(4) Après 15' bic. fixe	960 cc.	3 cc. 20	800 cc.	0,83	14	25 lit.
IX ^e expérience						
(1) Au repos.	173 cc. 46	1 cc. 380	135 cc. 2	0,70	14	9 lit. 800
(2) Après 15' de bic. fixe. . .	602 cc. 70	3 cc.	630 cc.	1,04	11	21 lit.
(3) A l'arrivée	254 cc. 58	1 cc. 33	158 cc. 9	0,62	18	11 lit. 950
(4) Après 15' bic. fixe	955 cc. 20	3 cc. 30	792 cc.	0,83	15	24 lit.

à l'arrivée
«
après 15' bic. erg.



Variations du débit respiratoire à l'entraînement

Numero d'ordre
des experiences

Interprétation des Résultats et Conclusions

1° Ventilation pulmonaire et travail musculaire de très longue durée.

a) Nous nous attendions à trouver une augmentation de la ventilation pulmonaire comme résultat de l'exécution d'un travail musculaire. Toutes les expériences confirment cette prévision et c'est là un fait indiscutable. Mais cette augmentation du débit respiratoire à la minute est plus considérable si l'exercice demandé est effectué par un sujet fatigué: la ligne D (fig. 1) figurant la ventilation pulmonaire après l'exécution de quinze minutes de bicyclette fixe après fatigue, est toujours supérieure dans toutes les expériences à la courbe C (ventilation pulmonaire après l'exécution de quinze minutes de bicyclette fixe avant fatigue), sauf pour l'expérience 5 où les deux chiffres de ventilation concordent sans qu'on puisse en expliquer la raison.

Donc, à travail musculaire égal, la ventilation pulmonaire croît avec la fatigue.

b) *Sous l'influence de l'entraînement, ce débit respiratoire à un effort donné, devient de moins en moins im-*

portant. Dans la première expérience, le sujet débitait après un quart d'heure de bicyclette fixe, 53 litres d'air, dans la deuxième, 41 litres... pour arriver finalement à un débit de 24 litres.

c) Sous l'influence de l'entraînement, la capacité vitale croît dans des proportions que nous n'osions prévoir, puisque de 4 l. 900, elle est passée, le jour de la dernière expérience, à 5 l. 700.

d) Dans toutes les expériences, pendant le quart d'heure de bicyclette fixe effectué avant fatigue, le sujet ressentait ce qu'on appelle le « second souffle des coureurs ». Au bout de quatre à cinq minutes de pédalage, il éprouvait de l'essoufflement et une sensation accusée de fatigue, la sueur apparaissait. Il surmontait cette courte défaillance et, au bout de peu d'instant, les phénomènes regressaient. Le sujet pouvait continuer son travail avec beaucoup plus de facilité.

Au contraire, pendant l'exécution du deuxième quart d'heure de bicyclette fixe (après fatigue) ce phénomène ne se reproduisait pas. La lassitude devenait de plus en plus forte jusqu'à la fin de l'exercice et le sujet terminait en général à bout de forces.

c) Enfin, dernière remarque : le nombre de kilogrammètres effectués n'a eu aucun rapport avec l'accroissement de la ventilation pulmonaire. Seuls, les phénomènes subjectifs de fatigue étaient accrus dans les longues étapes.

II. — Variations du CO_2 et de l' O_2 au cours du travail musculaire prolongé :

1° De l'ensemble de ces expériences se dégage la notion que l'organisme travaille moins économiquement quand la fatigue entre en jeu. Tous les résultats trouvés concourent

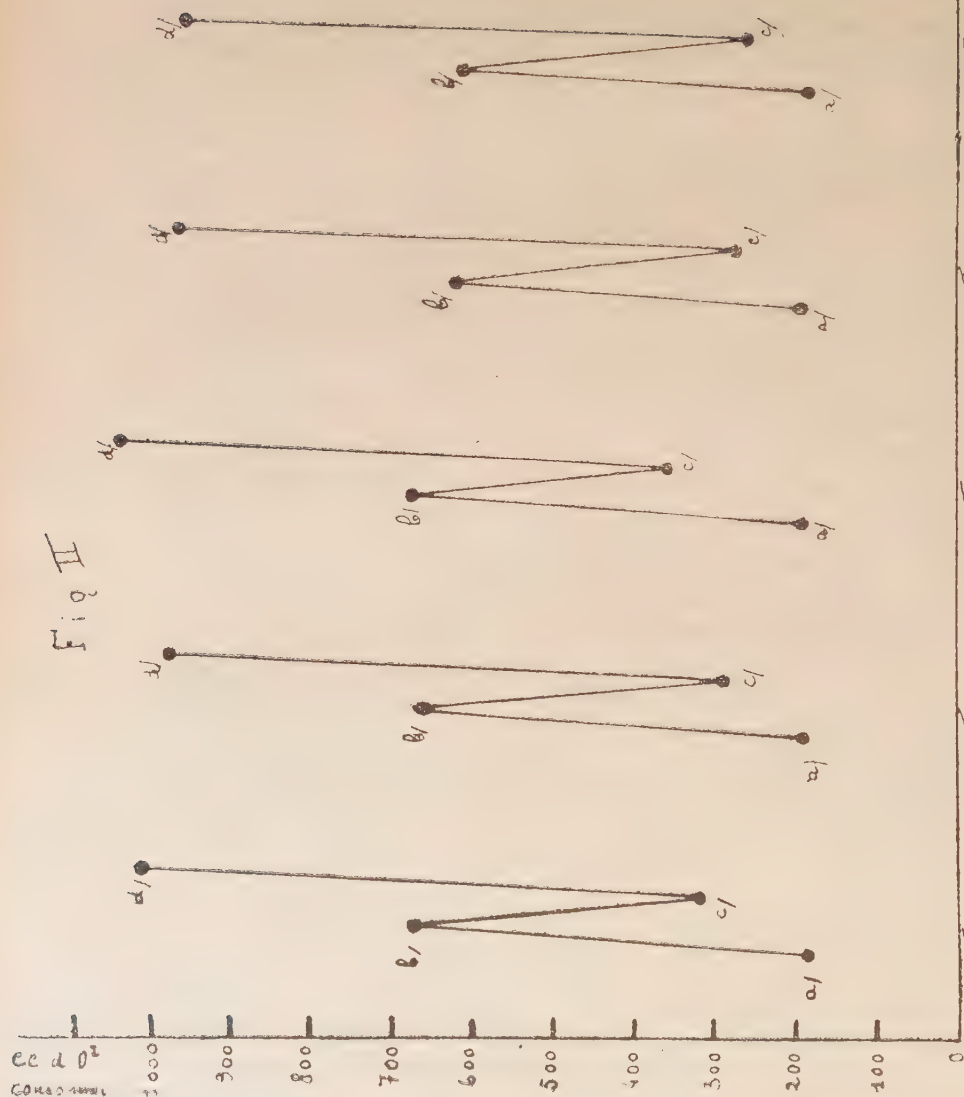
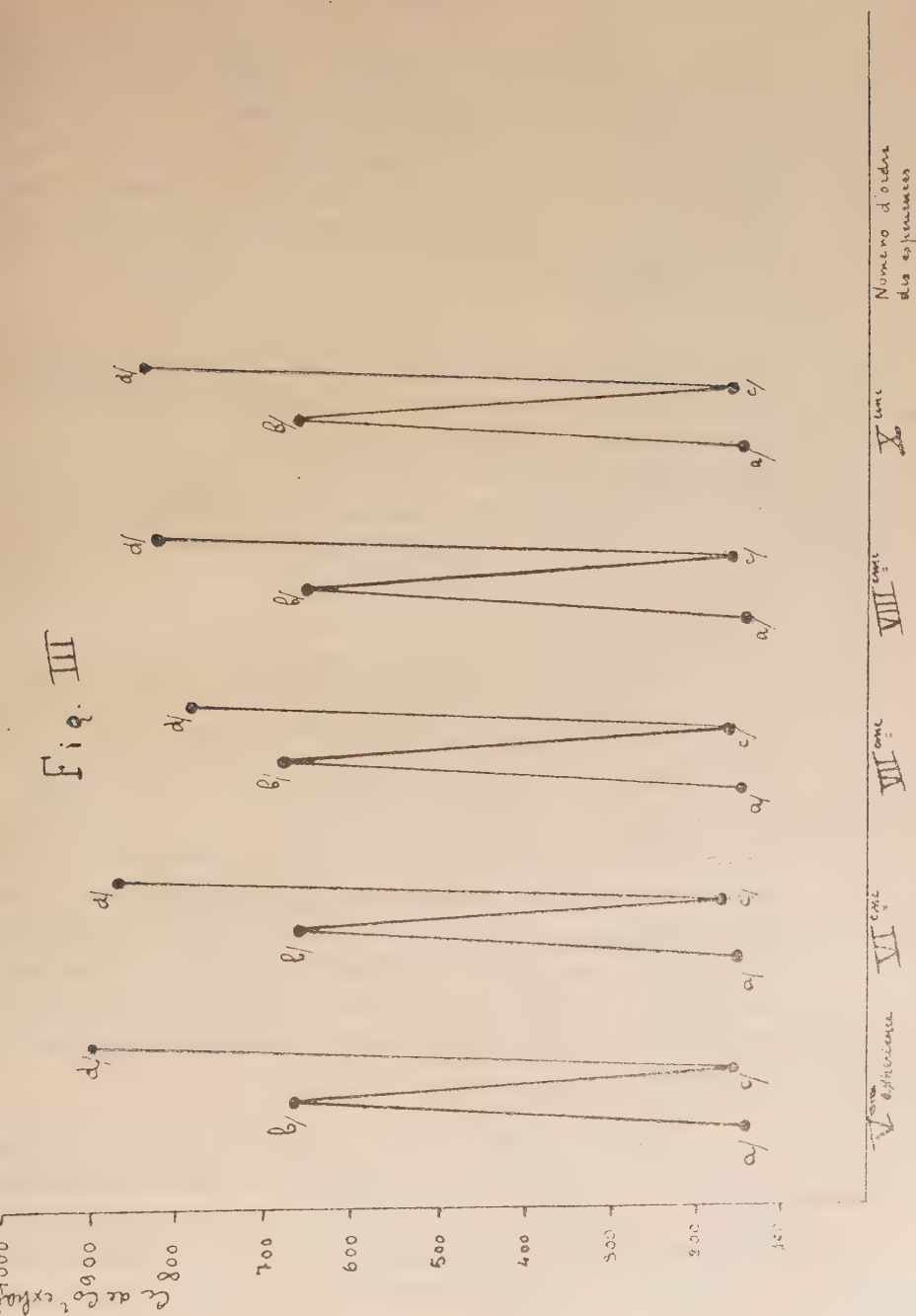


Fig II

Fig. III



Variations des volumes de CO₂ exhalés.

à démontrer que la consommation d'oxygène et le rejet de CO_2 présentent une valeur plus grande lorsque l'exercice est effectué par un sujet fatigué. Sur les planches II et III, tous les points *d* (figurant les quantités d'oxygène consommées et de CO_2 exhalées après l'exécution d'un quart d'heure de bicyclette fixe après fatigue) sont plus élevés que les points *b* (obtenus après exécution du même travail, mais sans fatigue préalable).

2° A l'arrivée (Point C. fig. II). Les quantités d'oxygène consommées sont toujours plus importantes que celles du départ (Points a).

Analysons la cinquième expérience, et nous constatons au départ une consommation de 177 cc. d'oxygène à la minute. Ce chiffre s'élève à 310 cc. à l'arrivée. Le sujet a donc contracté une dette d'oxygène de 133 cc.

Dans la sixième expérience cette dette est de 85 cc.

Dans la septième, elle passe à 290 cc.

Dans la huitième elle est de 77 cc.

Dans la neuvième, elle est de 76 cc.

Sous l'influence de l'entraînement cette dette d'oxygène tend à devenir de moins en moins importante. Une seule expérience vient à l'encontre de cette conclusion : la septième. Mais le sujet était arrivé fatigué à l'extrême, cette expérience ayant été de loin la plus épuisante de toutes. Il s'agissait d'un travail musculaire intense et de très longue durée, nullement comparable au travail musculaire d'intensité relativement modérée demandé dans les autres expériences.

3° A l'arrivée également les quantités de CO_2 exhalées en une minute (point c, fig. III) ont une valeur faiblement supérieure ou presque égale à celles du départ. Ceci paraît paradoxal mais peut s'expliquer de la façon suivante : l'organisme restaure sa réserve de glycogène musculaire.

en utilisant l'acide lactique en excès dans le sang. Le maintien du pH exige alors la rétention d'une certaine quantité de CO_2 qui s'unit aux carbonates.

Cette interprétation est d'ailleurs confirmée par les faits suivants :

a) L'augmentation du rejet de CO_2 est beaucoup plus faible que l'accroissement de la consommation d'oxygène. Par contre-coup, le quotient respiratoire est très bas.

Dans la cinquième expérience, il est de 0,48.

Dans la sixième expérience, il est de 0,58.

Dans la septième expérience, il est de 0,41.

Enfin, dans les deux dernières expériences, il est de 0,62. Jamais à l'arrivée, il n'a dépassé 0,70.

Ce n'est pas là un quotient respiratoire de combustion, mais bien un quotient de rétablissement de la réserve alcaline.

b) Dans la septième expérience, l'épuisement complet du sujet nécessitait une restauration plus intense de sa réserve alcaline. Aussi le Q.R. obtenu, 0,41 est le plus bas de tous ceux que nous avons observés.

En conclusion :

1° Augmentation de la ventilation pulmonaire plus accentuée chez le sujet fatigué et tendant à devenir moins importante sous l'influence de l'entraînement ;

2° Augmentation de la capacité vitale ;

3° Augmentation de la consommation d'oxygène et du rejet de CO_2 plus appréciable encore après fatigue ;

4° Dette d'oxygène devenant de moins en moins importante à mesure que l'entraînement progresse.

5°. Quotients respiratoires très bas à l'arrivée et acquérant des valeurs plus grandes sous l'influence de l'entraînement ;

Tels sont les principaux faits que nous croyons pouvoir extraire de ces expériences qui sont malheureusement en petit nombre, mais dont les résultats concordent cependant de façon satisfaisante.

Bibliographie

- AMAR (J.) — *Organisation physiologique du travail* (Dunod et Pinat, éditeurs, Paris 1917).
- ANDRÉ, FRENAY et ROCOUR. — *C. R. de la Société de Biologie* (28 janvier 1933, 112, page 695).
- BOURLET. — *Nouveau traité de bicycles et de bicyclettes* (20 mars 1898, Masson, éditeur).
- BOIGEY. — *Manuel scientifique d'Education physique* (Chap. XII, pages 329-367, Masson, éditeur).
- CASSEDEBAT. — *De l'entraînement et de ses effets chez le fantassin* (Paris, Société d'Edit. Scient., 1901).
- CHAILLEY-BERT (P.). — *La fatigue. Traité de physiologie normale et pathologique* (T. VIII, p. 293-325, Masson, édit., Paris 1929).
- CHAILLEY-BERT, FAILLIE et LANGLOIS. — Sur le « second souffle des coureurs » (*C. R. de l'Académie des Sciences*, 1921, Tome 172, page 1.610).
- CHRISTENSEN HOHWER. — *Arbeitsphysiologie* (VI, Mitteilung).
- DILL (D. B.) et FOLLING (A.). — *A nomographic description of expired air* (*J. Biologichem* 1927, 74, p. 313).
- DAUTREBANDE. — Les réactions respiratoires à l'entraînement (*Travail Humain*, III, 1er mars 1935, page 29).
- FRENAY, ANDRÉ et ROCOUR. — Les variations du CO₂ alvéolaire à l'effort musculaire et à l'entraînement (*Travail Humain*, 1933, T. I, n° 4).
- GRECH. — *Contribution à l'étude de l'influence de la fatigue sur le rendement du travail musculaire*. (Thèse, Montpellier, 1932).
- HALDANE. — *Respiration*. (New Haven, Yale University Press, 1922).

- HANSEN (E.) — Über die Sauerstoffschuld bei Körperlicher Arbeit (*Arbeitsphysiologie*, 1933, 8 Band, 2 Heft, page 151).
- HANSEN (E.). — Zum Vergleich des Energieumsatzes beim Radfahren und beim Treppensteigen. (*Arbeitsphysiologie*, 1933, 7 Band, 3 Heft, page 299).
- HERBST (R.) et NEBULONI (A.). — Ueber der Einfluss der Ermüdung auf Gaswechsel Puls und Atmung. (*Zeitschr.-f. d. ges. exp. Med.*, 1927, 57, pages 450-469).
- HERXHEIMER (Herbert). — Zur Frage des Wirkungsgrades bei « steady-state » Arbeit von Wechselnder Dauer. (*Arbeitsphysiologie*, 1933, 8 Band, 6 (Schluss) Heft).
- KNOGH et LINDHART. — The relative value of fat and carbonydrate as source of muscular enery, with appendices on the correlation between standart metabolime and the respiratory quotient during rest and work. (*Bioch. Journ.*, 1920, 14, p. 290).
- LOEWY (A.). — Die Wirkung ermüdender Musklarbeit auf den respiratorischen Stoffwechsel (*Pfügers Arch. f. d. ges. physiol.*, 1891, 49, p. 405-422).
- MARCHAC (E.). — Modifications fonctionnelles dans l'organisme humain provoquées par un travail musculaire de longue durée (*Travail Humain*, 1934, tome II, vol. II).
- RICHARD (G.-A.). — *La respiration dans l'exercice et le sport*. (Paris, A. Legrand, 1927, 8, xxii).
- VERNON et WARNER. — Influence de l'effort statique sur la respiration et les échanges respiratoires. (*Travail Humain*, 1933, tome I).

En ma qualité de Censeur de
tour, j'ai lu la Thèse ayant
pour titre :

Ventilation et échanges gazeux
pulmonaires au cours de l'exercice
musculaire prolongé

par M^r ANDRIEU

Je pense que la Faculté peut
en permettre l'impression.

Montpellier, le 3 mars 1937

Le Professeur,
HÉDON

Vu :

Montpellier le 3 mars 1937

Le Doyen,
EUZIERE.

Vu et permis d'imprimer :

Montpellier le 4 mars 1937,

Le Recteur,

Pour le Recteur,
Le Doyen délégué
ASTRUC

Serment

En présence des Maîtres de cette Ecole, de mes chers condisciples et devant l'effigie d'Hippocrate, je promets et je jure, au nom de l'Etre suprême, d'être fidèle aux lois de l'honneur et de la probité dans l'exercice de la Médecine. Je donnerai mes soins gratuits à l'indigent, et n'exigerai jamais un salaire au-dessus de mon travail. Admis dans l'intérieur des maisons, mes yeux ne verront pas ce qui s'y passe ; ma langue taira les secrets qui me seront confiés et mon état ne servira pas à corrompre les mœurs ni à favoriser le crime. Respectueux et reconnaissant envers mes maîtres, je rendrai à leurs enfants l'instruction que j'ai reçue de leurs pères.

Que les hommes m'accordent leur estime si je suis fidèle à mes promesses ! Que je sois couvert d'opprobre et méprisé de mes confrères si j'y manque !

